KURA 金沢大学学術情報リポジトリ
Kanazawa University Repository for Academic resources
金沢大学 KANAZAWA UNIVERSITY

Title	データ包絡分析法による設計改善案構築方法の提案（チャイルドシートへの適用事例）
Author(s)	北山, 哲士; 荒川, 雅生; 山崎, 光悦
Citation	日本機械学会論文集C編, 71(706): 1955-1961
Issue Date	2005
Type	Journal Article
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/2297/2270
Right	日本機械学会の許諾を得て，著者最終稿を登録

*KURAに登録されているコンテンツの著作権は，執筆者，出版社（学協会）などが有します。
*KURAに登録されているコンテンツの利用については，著作権法に規定されている私的使用や引用などの範囲内で行ってください。
*著作権法に規定されている私的使用や引用などの範囲を超える利用を行う場合には，著作権者の許諾を得てください。ただし，著作権者から著作権等管理事業者（学術著作権協会，日本著作出版権管理システムなど）に権利委託されているコンテンツの利用手続については，各著作権等管理事業者に確認してください。

http://dspace.lib.kanazawa-u.ac.jp/dspace/

データ包絡分析法による設計改善案構築方法の提案

（チャイルドシートへの適用事例）

北山哲士[*1]　荒川雅生[*2]　山崎光悦

Proposal for Design Improvement Instruction by Data Envelopment Analysis

(Case with application to child seat)

Satoshi KITAYAMA, Masao ARAKAWA, and Koetsu YAMAZAKI
Department of Human & Mechanical Systems Engineering, Kanazawa University
2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa, 920-8667, Japan

One of the important aspects in preliminary design is to make their products perform well without any imperfections when it spread out in the market. Therefore, we need to evaluate the products with the same kinds of products from many aspects. These evaluations can regard as multi-objective design optimization, and most likely scalar methods are used, such as the weighted sum method. In these methods, it is quite important to give optimal weight for each objective function, so that it fits with preference of the designers. Moreover, these optimal weights give us an important information of the improvements of design quantitatively. In this paper, we use data envelopment analysis (DEA), which can derive total evaluation and optimal weights from given datum from the products in the same kinds. Hence, we can derive the amount of improvement needed compared with the other products. To examine the effectiveness of the proposed method, we collect data of Ministry of Land, Infrastructure and Transport Government of Japan in 2002 and evaluate many child-seats. From the results, we could clarify a part of child seat, which should be improved, and showed its effectiveness through its considerations.

Key Words : **Data Envelopment Analysis, Design Engineering, Child seat assessment, Optimum Design, Multi-Objective Optimization**

1　緒言

製品のコスト競争力を向上させるため，製品系列という，複数の製品の中で部品の共通化・共有化を行い設計の改善箇所を絞り，設計を行うことの重要性が報告されている[(1)]．また製品ライフステージが導入期・成長期・成熟期と3段階となることを考慮し，品質機能展開（QFD)法を利用して，成長期から成熟期の製品に対して，その設計改善箇所を指摘する研究も行われている[(2)]．製品の付加的価値をもたせるために，成長期・成熟期に対してQFD法を適用することは効果的であると考えられるが，導入期に対しての適用効果は，その製品の使用価値を定めるため，慎重に適用しなければならないと考えられる．導入期の製品に求められることは，製品がきちんと機能することであり，欠陥がないことが必須となる．そのため，複数のメーカーがユーザーに対して同じ使用目的を想定して製品を販売している場合は，製品の競争力を向上させるため，それらの製品は何らかの統一された多数の評価項目で総合的に評価することが重要と考えられる．総合評価の低い製品の場合，どの評価項目をどの程度設計改善するのか，また総合評価の高いものでも，いくつかの評価項目では改善が必要である場合も多く，これらの設計改善箇所を定量的に把握することは重要であると考える．

本論文では，複数の評価項目を最大化するという，多目的最適設計に立場にたつとする．多目的最適設計における線形荷重和法を用いる場合，設計目標を決めることは重みを決定することに帰着されるが，重みと目的関数の間には複雑な非線形の関係があるため，その決定は難しいとされている[(3)]．これは，線形荷重和法を利用して，設計目標を立てることの難しさを示すものであると考えられる．また，導入期の製品において設計変更を行う際に，複数ある評価項目の重みを再度決定するよりも，むしろどの評価項目をどのように改善すれば，評価が上がるのかを定量的に把握することが重要であると考えられる．

本論文では，同じ使用目的で設計・生産された導入期の製品を対象とし，データ包絡分析法の中のCCRモデルおよびBCCモデルを併用することにより，現在の製品に対して具体的な設計改善案の範囲を定量的に導く方法を提案する．その適用事例として，近年その重要性が増しているチャイルドシートを扱う．

＊ 原稿受付　平成？？年？月？日

＊1正員，金沢大学工学部（〒920-8667 金沢市小立野2-40-20）．
＊2正員，香川大学工学部（〒761-0396　高松市林町2217-20）．

2　データ包絡分析法

DEAは，複数の公共事業の効率を比率尺度により相対的に測定するために，1978年にCooperらにより提唱された方法である．DEAは優れたものを基準に評価する方法であり，多入力・多出力を扱うことができ，入出力ベクトルに対する最適な重みを見つけることができる．しかしそれ以上に重要なことは，入出力データに対し，改善案を定量的に算出できることである．そのため，データ包絡分析法を多目的最適設計へ応用した研究もいくつか行われている[4),(5)]．DEAの詳細については，文献（6）を参照されたい．DEAを適用する方針を以下に示す．

(1)入力データおよび出力データに関して，数値データがあり，原則としてすべて正値であること．

(2)入力データおよび出力データに関しては，自分が最も見たいと思う入力対出力の効率性の特徴を表しているものを選ぶ．

(3)原則として，ある出力を得るための入力に関して言えば，値の小さいものほど好ましく，ある入力による出力に関しては，大きいものほど好ましい状態にあるものとする．これは，入力データに最小化したいデータ，出力データに最大化したいデータを割当てることを意味する．

(4)入力データおよび出力データの項目の数値の単位は任意にとってよい．

あるo番目の分析対象（以下，DMU_oと略記する)の効率値θ　を測定する際に本論文では，ＣＣＲ（Ｃｈａｒｎｅｓ，Ｃｏｏｐｅｒ，Ｒｏｄｅｓ）モデルとＢＣＣ（Banker,Charnes,Cooper）モデルの二つのモデルを用いる．

またDEAを設計工学へ応用する際の前提として，以下の項目が挙げられる．

（1）同一目的で生産された製品に対して，統一された複数の評価項目があること．さらにそれらの評価項目が数値で評価されていること．もし数値で評価されていない場合は，なんらかの方法で評価を数値に変換することが必要となる．

（2）評価項目は最小化したい項目と最大化したい項目へ分類できること．仮にすべての評価項目を最大化した場合は，仮想入力を与える[11)]．

（3）入力データとは，最小化したい評価項目の数値に対応し，出力データとは最大化したい評価項目の数値に対応する．さらに分析対象とは，競合する各製品に対応する．

2.1　CCRモデルとBCCモデル

CCRモデルは次の式で表される．

$$\theta \to \min \tag{1}$$
$$\theta \mathbf{x}_o - \mathbf{X}\boldsymbol{\lambda} \geq 0 \tag{2}$$
$$\mathbf{y}_o - \mathbf{Y}\boldsymbol{\lambda} \leq 0 \tag{3}$$
$$\boldsymbol{\lambda} \geq 0 \tag{4}$$

一方，BCCモデルは次の式で表される．

$$\theta \to \min \tag{5}$$
$$\theta \mathbf{x}_o - \mathbf{X}\boldsymbol{\lambda} \geq 0 \tag{6}$$
$$\mathbf{y}_o - \mathbf{Y}\boldsymbol{\lambda} \leq 0 \tag{7}$$
$$\sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1 \tag{8}$$

ここでθはo番目のDMU_oの効率を表し，$\theta=1$のとき，D効率的であり，$\theta<1$のときは，非効率的であると言われる．$\mathbf{X}$と$\mathbf{Y}$はそれぞれ，入力データおよび出力データを集めたマトリックスであり，$\mathbf{x}_o$と$\mathbf{y}_o$はo番目のDMU_oの入力データおよび出力データである．また$\boldsymbol{\lambda}$はラグランジュ乗数ベクトルであり，例えばj番目の非効率的な分析対象DMU_jが効率的になるためには，どの分析対象を参照すればよいのか（すなわち，目標とする分析対象）を示してくれる．

効率値を求める際，式（2）と（3）にスラック変数$\mathbf{s}_x$，$\mathbf{s}_y$を用いて，

$$\theta \mathbf{x}_o - \mathbf{X}\boldsymbol{\lambda} - \mathbf{s}_x = 0 \tag{9}$$
$$\mathbf{y}_o - \mathbf{Y}\boldsymbol{\lambda} + \mathbf{s}_y = 0 \tag{10}$$

と等式制約条件に変形し，線形計画法で効率値を求めることになるが，$\theta=1$であり，かつスラック変数が

$$\mathbf{s}_x = \mathbf{s}_y = 0 \tag{11}$$

となる分析対象を効率的であると言う．

$\theta=1$となる分析対象が構成する包絡面は効率的フロンティアと呼ばれ，多目的最適設計における凸なパレート解と一致する[7)]．簡単のため，１入力１出力の場合のCCRモデルとBCCモデルの効率的フロンティアを図１に示す．

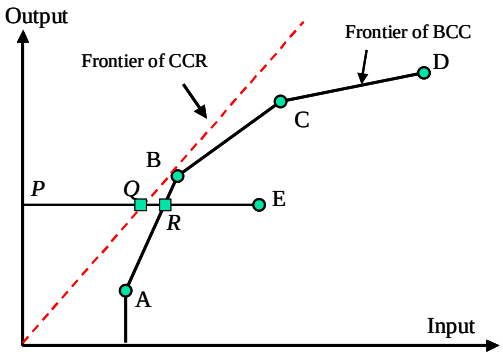


Fig.1 Difference of frontier between CCR and BCC

例えば図1 に示すように，5 つの分析対象をA,B,C,D,Eがあるものとする．このとき，CCRモデルの効率的フロンティアは原点とA を結ぶ点線で表される．一方，BCCモデルの効率的フロンティアは現存するデータから凸集合を作成するため，同図の直線で表される．これら効率的フロンティア上にない分析対象はすべて非効率的となる．例えばCCRモデルの場合，非効率的な分析対象はA,C,D,Eであり，一方BCCモデルの場合はEのみとなる．また非効率的な分析対象（同図E）の効率値を測定する場合，CCRモデルの場合，Eの効率値は

$$PQ/PE \tag{12}$$

となるのに対し，BCCモデルでの効率値は

$$PR/PE \tag{13}$$

で測定される．

CCRモデルの場合，「規模の効率が一定」という仮定のもとに効率値を算出しているが，BCCモデルは，規模の生産効率の変動を考慮した方法である．「規模が一定」ということは，生産可能集合に属する$(\mathbf{x},\mathbf{y})$に対して，k 倍（$k\neq 0$）した$(k\mathbf{x},k\mathbf{y})$も生産可能集合に属することである．実際，$(k\mathbf{x},k\mathbf{y})$を式（1）～（4）に代入すれば，CCRモデルは

$$\theta \rightarrow \min \tag{14}$$

$$k\theta\mathbf{x}_o - k\mathbf{X}\boldsymbol{\lambda} \geq 0 \tag{15}$$

$$k\mathbf{y} - k\mathbf{Y}\boldsymbol{\lambda} \leq 0 \tag{16}$$

$$\boldsymbol{\lambda} \geq 0 \tag{17}$$

となり，同一解が得られる．一方，BCCモデルをk 倍しても同一解は得られないのは，式（8 ）のラグランジュ乗数の制約のためである．BCCモデルは，規模の変動$(k\mathbf{x},k\mathbf{y})$ による効率の変動を考慮せず，現存するデータに基づき凸集合を作成するためである．

2.2　改善案の提示　評価項目の改善の変更量は，効率値θとスラック変数$\mathbf{s}_x$，$\mathbf{s}_y$を用いて求めることができる．現在の出力値を出来る限り保ちつつ，入力値を減少させたい場合は，

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_o = \theta\boldsymbol{x}_o - \boldsymbol{s}_x \tag{18}$$

$$\tilde{\boldsymbol{y}}_o = \boldsymbol{y}_o + \boldsymbol{s}_y \tag{19}$$

となり，現在の入力値を出来る限り保ちつつ，出力値を増加させたい場合は，

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_o = \boldsymbol{x}_o - \frac{\boldsymbol{s}_x}{\theta} \tag{20}$$

$$\tilde{\boldsymbol{y}}_o = \frac{\boldsymbol{y}_o + \boldsymbol{s}_y}{\theta} \tag{21}$$

となる．ここで，$\tilde{\boldsymbol{x}}_o$と$\tilde{\boldsymbol{y}}_o$はそれぞれ，o番目の分析対象が目標とする入力データと出力データである．

3　分析方法

一般に，ある分析対象において，CCRモデルを用いて評価した場合，極端な例を挙げるなら，効率値がゼロに近くても，BCCモデルでは1となる場合もある．これはBCCモデルが現存データから凸集合を作成して，効率を測定するためである．よって，どちらか一方のモデルの効率値のみから評価項目の改善が無いと判断することや，両モデルが効率値1 であるからといって，評価項目の改善がないと判断することは危険である．つまり，効率値のみで判断するのではなく，評価項目の改善の有無を調べることが重要となる．

本論文では，CCRモデルとBCCモデルを併用することにより，現在の製品を評価し，その具体的な設計改善案を定量的に把握する．

3.1　D効率的な分析対象について　両方のモデルで効率値が1となった分析対象については，スラック変数の値まで調べ，入出力の改善が必要かどうかを確認する．すなわち，効率値$\theta=1$かつスラック変数が共にゼロであるかを確認する．スラック変数が非ゼロの場合は，改善値を式（18）,（19）（もしくは式(20),(21)）によって決める．改善案の範囲については，次節にて述べる．

3.2　改善案の範囲ついて　両モデルで非効率的，もしくはどちらか一方のモデルを用いて非効率的となった分析対象については，提示される評価項目の改善策の範囲を決める．例えば現在の出力値を出来る限り保ちつつ，入力値を減少させたい場合は，式（18）および（19）を用いて，BCCモデルで最低限改善する値を決め，CCRモデルで最大限改善する値を決める．入力データ（最小化したいデータ）を対象とした場合，BCCモデルでの効率値とスラック変数をそれぞれθ^{BCC}，$\boldsymbol{s}_x^{BCC}$，$\boldsymbol{s}_y^{BCC}$とし，CCRモデルでの効率値とスラック変数をθ^{CCR}，$\boldsymbol{s}_x^{CCR}$，$\boldsymbol{s}_y^{CCR}$とすれば，入力データの改善範囲は

$$\boldsymbol{x}_{\min} = \theta^{CCR}\boldsymbol{x}_o - \boldsymbol{s}_x^{CCR} \tag{22}$$

$$\boldsymbol{x}_{\max} = \theta^{BCC}\boldsymbol{x}_o - \boldsymbol{s}_x^{BCC} \tag{23}$$

となる．ここで$\boldsymbol{x}_{\min}$と$\boldsymbol{x}_{\max}$はそれぞれ入力データに対して，最大限改善する値と最低限改善する値を示す．そして，o番目の分析対象の入力データ$\boldsymbol{x}_o$は

$$\boldsymbol{x}_{\min} \leq \boldsymbol{x}_o \leq \boldsymbol{x}_{\max} \tag{24}$$

の範囲で改善する必要があるものとする．また，出力データについては，その逆を考えればよい．すなわち

$$\boldsymbol{y}_{\min} = \boldsymbol{y}_o + \boldsymbol{s}_y^{BCC} \tag{25}$$

$$\boldsymbol{y}_{\max} = \boldsymbol{y}_o + \boldsymbol{s}_y^{CCR} \tag{26}$$

となる．ここで，$\boldsymbol{y}_{\min}$と$\boldsymbol{y}_{\max}$はそれぞれ，最低限改善

する値と最大限改善する値を示す．o 番目の分析対象の出力データ y_o は

$$y_{\min} \le y_o \le y_{\max} \quad (27)$$

の範囲で改善する必要があるものとする．ただし，多目的最適設計の問題では，トレードオフの関係が存在するため，出力データの評価項目によっては，CCRモデルで最低限改善する値を，BCCモデルで最大限改善する値を決めることもある．

3.3　現状値と目標値の差がない評価項目について　複数の製品に対して両モデルを併用し，現状値と目標値の差がない評価項目について考える．例えば，o 番目の分析対象の i 番目の出力データ y_o^i に対し，次が成り立つとする．

$$y_o^i = y_{\min}^i = y_{\max}^i \quad (28)$$

この場合，その i 番目の評価項目に関しては用いたデータの範囲の中で，改善の必要はなく，すべての分析対象が目標とする評価項目であるとする．

4　チャイルドシートへの適用事例

本論文では，2002年度のチャイルドシートアセスメントのデータ[8]を用いて，比較的使用年数の長い幼児用のチャイルドシートを対象に，評価および設計改善案の提示を行う．チャイルドシートアセスメントは平成13年度から開始されており，チャイルドシート着用の義務化の後も，チャイルドシートの着用率も55%未満と低いため，チャイルドシートは導入期の製品であると考える．

チャイルドシートアセスメントの目的は，信頼できる安全性能評価を公表して，消費者に対して，より安全な製品を選択しやすい環境を整えるとともに，メーカーに対しては，より安全な製品の開発を促して，安全なチャイルドシートの普及を促進しようとするものである．チャイルドシートアセスメントは大きく，「前面衝突試験」と「使用性評価試験」の2つの項目から，チャイルドシートが評価されている．

4.1　前面衝突試験　時速55kmでの正面衝突を想定し，前面衝突時におけるチャイルドシートによる子供の保護性能を評価するために行う．後部座席にチャイルドシートを取り付け，子供のダミーを乗せる．そしてダミーが，頭部や胸部にどれだけの加速度が加わったのかを測定する．図2に示すようなチャイルドシート本体の破損や，ダミーの挙動や加速度などに関して，「優」「良」「普通」「推奨せず」の4段階で総合的な安全性能を評価を行う．前面衝突試験は主に（１）頭部の前方移動量，（２）頭部合成加速度，（３）胸部合成加速度，（４）シートの破損，（５）その他の事象の５項目から構成される．（図2参照）

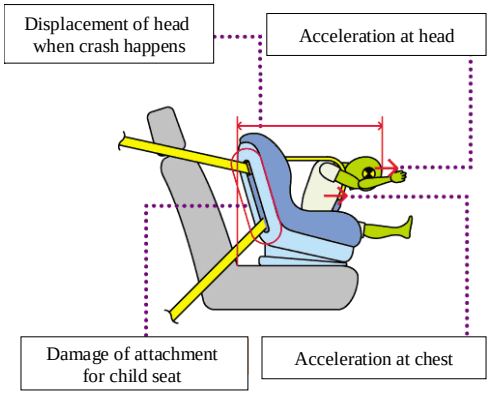


Fig.2 Front crash test items of child seat

上記（1）～（5）の項目に対して，◎が４つの場合は「優」となる．◎が３つ，○が１つの場合は「良」となる．一方で，×が１つでもあれば，「推奨せず」になる．「優」「良」「推奨せず」に該当しない場合は「普通」となる．

前面衝突試験の結果は，固定方式と直接的に関連する事項であると考えられるため，以下に簡単に固定方式について記述する．

図3(a)～(c)に示すような以下の3種類がある．

（１）2点固定式（図3(a)）・・・腰ハーネスだけで後部座席に固定する．

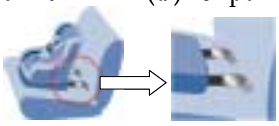
（２）3点固定式（図3(b)）・・・後部座席のシートベルトを使い，大人が普通にかけた時のように肩部と腰部を固定する．

（３）ISO-FIX（図3(c)）・・・あらかじめ座席に取付金具が装備されており，これにチャイルドシートを固定する．新しい固定方式であるため，あまり普及していないのが現状である．

Table 1 Data based on child seat assessment

Child seat	(I)Cost	(O)Front crash test	(O)Manual	(O)Display	(O)Mechanism	(O)Fitting	(O)Fixing
A	2.98	3	4.2	4.5	4	5	4.6
B	6.98	3	4	4.8	3.6	4.3	3.4
C	1.55	3	2.2	3.2	2	2.7	3
D	2.98	3	4.2	4.5	4	3.5	3
E	1.98	2	4.2	3.8	4.3	5	3.8
F	4.28	3	4.7	4.8	4.7	5	4.6
G	6.5	3	4.2	5	3.8	4.8	4.4
H	8.98	3	2.7	2.7	2.6	3	3.2
I	3.6	3	4.3	3	3.7	5	4.6

(a) 2-point fix (b) 3-point fix



(c)ISO-FIX

Fig.3 Some fix manners of child seat

4.2 使用性評価試験 チャイルドシートの誤った使用を防止する観点から，チャイルドシートの構造や表示などについて評価するために行う．この評価は５点満点で評価される．評価項目は，(１)取扱説明書等，(2)本体表示，(3)本体機構，(4)取付性，(5)装着性の５項目から評価される．

使用性評価試験に関しては，定性的な項目が多いが，チャイルドシートアセスメントでは，これらを数値化する．

4.3 評価項目について DEAによる分析を行うに当り，消費者の選考を考慮して，入出力データを次のように決めた．

入力データ・・・販売価格（万円）

出力データ・・・チャイルドシートアセスメントの評価値．ただし，前面衝突試験の結果に対して，第2章で述べたように，入出力データは原則として全て正値でなければならないため，「優」に4点，「良」に3点，「可」に2点，「推奨せず」に1点を与えた．

分析に用いたデータを表1に示す．表1中の(I)は入力データ，(0)は出力データを示す．

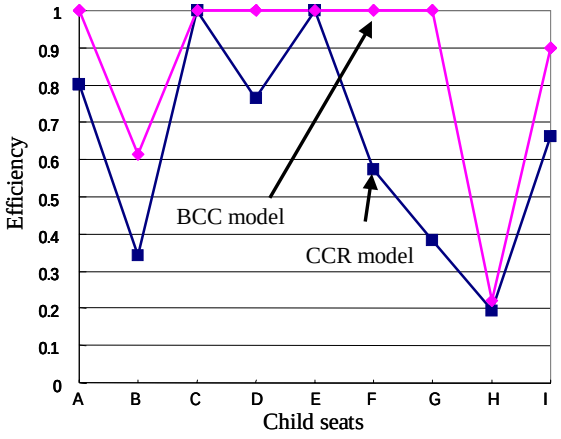


Fig.4 The efficiency of child seat

CCRモデルとBCCモデルによって得られた効率値（評価）を図4に，また各評価項目の現状値と目標値を表2に示す．なお目標値の算出は式（18),(19)を用いた．これは消費者の立場に立てば，より安い価格でチャイルドシートアセスメントの評価値の高い商品が選ばれる可能性が大きいこと，また現在のチャイルドシート

Table 2 Current and target status by CCR and BCC model

A	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	2.98	2.4	2.98
Front crash test	3	3.5	3
Manual	4.2	4.2	4.2
Display	4.5	4.8	4.5
Mechanism	4	4.1	4
Fitting	5	5.0	5
Fixing	4.6	4.6	4.6
B	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	6.98	2.4	4.28
Front crash test	3	3.8	3
Manual	4	4.0	4.7
Display	4.8	4.8	4.8
Mechanism	3.6	3.8	4.7
Fitting	4.3	4.8	5
Fixing	3.4	4.6	4.6
C	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	1.55	1.6	1.55
Front crash test	3	3.1	3
Manual	2.2	2.2	2.2
Display	3.2	3.2	3.2
Mechanism	2	2.0	2
Fitting	2.7	2.7	2.7
Fixing	3	3.0	3
D	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	2.98	2.3	2.98
Front crash test	3	3.1	3
Manual	4.2	4.2	4.2
Display	4.5	4.5	4.5
Mechanism	4	4.2	4
Fitting	3.5	5.0	5
Fixing	3	4.4	4.6
E	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	1.98	2.0	1.98
Front crash test	2	2.0	2
Manual	4.2	4.2	4.2
Display	3.8	3.8	3.8
Mechanism	4.3	4.3	4.3
Fitting	5	5.0	5
Fixing	3.8	3.8	3.8
F	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	4.28	2.4	4.28
Front crash test	3	3.1	3
Manual	4.7	4.7	4.7
Display	4.8	4.8	4.8
Mechanism	4.7	4.7	4.7
Fitting	5	5.0	5
Fixing	4.6	4.7	4.6
G	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	6.5	2.5	6.5
Front crash test	3	3.9	3
Manual	4.2	4.2	4.2
Display	5	5.0	5
Mechanism	3.8	4.0	3.8
Fitting	4.8	5.0	4.8
Fixing	4.4	4.8	4.4
H	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	8.98	1.7	1.979
Front crash test	3	3.0	3
Manual	2.7	2.8	2.8
Display	2.7	3.5	3.59
Mechanism	2.6	2.6	2.6
Fitting	3	3.3	3.39
Fixing	3.2	3.4	3.48
I	Current status	Target by CCR	Target by BCC
Cost	3.6	2.4	3.24
Front crash test	3	3.4	3
Manual	4.3	4.3	4.3
Display	3	4.7	4.56
Mechanism	3.7	4.2	4.14
Fitting	5	5.0	5
Fixing	4.6	4.6	4.6

Table 3 Items and range of improvement

A	Minimum	Maximum
Cost	2.4	2.98
Front crash test	3	3.5
Display	4.5	4.8
Mechanism	4	4.1
B	Minimum	Maximum
Cost	2.4	4.28
Front crash test	3	3.8
Manual	4.0	4.7
Mechanism	3.8	4.7
Fitting	4.8	5.0
Fixing	4.6	
C	Minimum	Maximum
Cost	1.55	1.6
Front crash test	3	3.1
D	Minimum	Maximum
Cost	2.3	2.98
Front crash test	3	3.1
Mechanism	4	4.2
Fitting	5.0	
Fixing	4.4	4.6
F	Minimum	Maximum
Cost	2.4	4.28
Front crash test	3	3.1
Fixing	4.6	4.7
G	Minimum	Maximum
Cost	2.5	6.5
Front crash test	3	3.9
Mechanism	3.8	4.0
Fitting	4.8	5.0
Fixing	4.4	4.8
H	Minimum	Maximum
Cost	1.7	1.98
Manual	2.8	
Display	3.5	3.59
Fitting	3.3	3.39
Fixing	3.4	3.48
I	Minimum	Maximum
Cost	2.4	3.24
Front crash test	3	3.4
Display	4.56	4.7
Mechanism	4.14	4.2

アセスメントの評価値に対し，適切な価格設定がなされているかを知ることは重要であると考えたためである．

図4より，CCRモデルでの評価とBCCモデルでの効率値が共に1となったものは，CとEであり，これらが効率的であると考えられる．また表2において両モデルを併用した結果，変更の無いとされた評価項目をまとめると，次のようになる．

Aについて・・・取扱説明書等，取付性，装着性．

Bについて・・・本体表示．

Cについて・・・価格および前面衝突試験結果を除いた評価項目．

Dについて・・・取扱説明書等，本体表示．

Eについて・・・価格を除いたすべての評価項目．

Fについて・・・取扱説明書等，本体表示，本体機構，取付性．

Gについて・・・取扱説明書等，本体表示．

Hについて・・・前面衝突試験と本体機構を除いた評価項目．

Iについて・・・取扱説明書等，取付性，装着性．

4.4　改善案の範囲　CCRモデルとBCCモデルの併用の結果，どちらか一方で非効率的と判断されたものについては，評価項目の改善が望まれる．改善が必要とされる項目とその改善範囲を表3に示す．表3中の「Minimum」とは入力データについては最大限改善する値（すなわち価格の最低ライン）であり，基本的にはCCRモデルの目標値から得られ，出力データについては．最低限改善する値（チャイルドシートアセスメントの評価において，最低限求められる値）を意味し，基本的にはBCCモデルの目標値から得られる．一方，「Maximum」とは入力データについては最低限改善する値（価格の上限ライン）であり，基本的にはBCCモデルの目標値から得られ，出力データについては．最大限改善する値（チャイルドシートアセスメントの評価において，改善できるはずの最大の値）を意味し，基本的にはCCRモデルの目標値から得られる．ただし，3．2節で述べたように，入力データと出力データの間には，トレードオフの関係が存在するため，出力データの評価項目によっては，CCRモデルで最大限改善する値を，BCCモデルで最低限改善する値を決めることもある．改善の範囲は入力データに関しては式（22)と（23），出力データに関しては式（25）と（26）から算出した．表3は，例えばAについて考えると，価格を2.4～2.98万円の範囲に設定し．前面衝突試験の結果，本体表示，本体機構の評価値を表3の範囲に設定することが望ましいことを意味する．

4.5　設計改善の提案　チャイルドシートアセスメントの評価項目の多くは，説明書を分かり易くするなど，定性的な項目が多く，数値化する際の問題点が指摘されている[9]．しかし出力項目の中で，特に前面衝突試験の結果は直接的に固定方式に関連する事項であると考えられるため，設計改善に向けた提案として，固定方式を，図3に示した現時点で用いられている固定方式の中から，選ぶことを考える．ここで，BCCモデルとCCRモデルによる分析結果において，チャイルドシートHのみが，現状値と目標値の変更がないという結果が出ている．（表2参照）Hを除くすべてのものは，3点固定方式であったのに対し，チャイルドシートHのみが新固定方式のISO-FIXであった．

単純に効率値を比較するだけではなく，CCRモデルとBCCモデルの両方を用いた結果から，改善すべき点を定量的に把握し，現状値と目標値に差がないということから，前面衝突に関しては，ISO-FIXによる固定方式を採用しているHがよいということがわかる．

このことは，コスト面等様々な要因を考慮して考えた場合の総合評価とは異なるものの，その側面を見て，定量的に評価することから得られる帰結であり，提示した手法の有効性の一端を示すものと考えられる．

4.6　点数付けの影響について　前面衝突試験の結果に対し，本論文では独自に点数付けを行った．そこで本節では，点数付けの影響について調べる．入出力データは原則としてすべて正値あるため，前面衝突試験の結果に対し，「優」に5点，「良」に4点，「可」に3点，「推奨せず」に2点を与えた．それ以外の数値は表1と同一とした．前面衝突試験の結果を表4に示す．

Table 4 Result by diffrent front crash test score

Child seat	Current Status	Target by CCR	Target by BCC
A	4	4.92	4
B	4	5	4
C	4	4.1	4
D	4	4.41	4
E	3	3	3
F	4	4.45	4
G	4	5	4
H	4	4	4
I	4	4.78	4

表4においても，HのみがCCRモデルとBCCモデルの現状値と目標値に差がないため，Hの固定方式（ISO-FIX)はよいものと考えられる．

5　結言

本論文では導入期の製品を対象とし，統一された複数の評価項目のある製品に対して，データ包絡分析法を用いて設計改良指針構築の基礎的検討を行った．本論文では，CCRモデルとBCCモデルを併用することにより，評価の改善の範囲を決めた．また，両モデルを併用した結果，改善がないと評価された項目については，その評価項目が用いたデータの範囲の中では，改善の必要はないものとし，すべての分析対象が目標とする評価項目であるとした．

適用事例として，チャイルドシートアセスメント評価に適用し，各メーカーから販売されているチャイルドシートの相対的な比較をした．前面衝突試験の結果に着目し，設計変更箇所を絞り込み，現在の固定方式（2点固定，3点固定，ISO-FIX)の中から，取り付け方式の変更を提案した．結果としては，固定方式を３点固定方式からISO-FIXに変更するという単純なものになったが，定量的な評価に基づき導かれた結論であり，これは国土交通省が採用計画を具体的に提案している[10]固定方式と一致している．

本論文では特に，導入期の製品に対してデータ包絡分析法を適用することにより，設計改善箇所を絞り込み，定量的に改善案を提示する方法の有効性を検討した．これは導入期の製品の場合はその製品の使用にあたり，欠陥・不具合などがある場合，成長期や成熟期の製品よりも改善箇所の設計改良が比較的容易であると思われるためであるが，本論文で提案する方法は導入期の製品のみならず，何らかの統一された多数の評価項目で総合的に評価されている成長期および成熟期の製品であり，かつ設計改良が容易であるような製品に対しても有効であると考える．

参考文献

（１）藤田・石井，製品系列統合化設計とそのタスク構造，機論C，65-629，（1999），pp.416-423.

（２）藤田・西川，製品の高付加価値化とその品質機能展開による設計評価法，機論C，６７-６５６，(2001)，pp.1202-1209.

（３）中山・谷野，多目的計画法の理論と応用，(1994)，コロナ社.

（４）M.Arakawa，*et.al, Multiobjective Optimization Using Adaptive Range Genetic Algorithms with Data Envelopment Analysis*,A Collection of Technical Papers on 7th Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Vol. 3, (1998), pp.2074-2082.

（５）宮下・山川，スーパバイズシステムを用いた協調設計に関する研究，機論C,66-643，（2000），pp.921-928.

（６）刀根薫，経営効率性の測定と改善，（1993），日科技連.

（７）刀根薫・上田徹監訳，経営効率評価ハンドブック-包絡分析法の理論と応用-，（2000），朝倉書店.

（８）http://www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/crs/default.htm

（９）http://www.mlit.go.jp/pubcom/01/kekka/pubcomk31/pubcomk31_1.pdf

（１０）http://www.mlit.go.jp/jidosha/child/01news/991109.htm

（１１）荒川雅生，最適設計ハンドブック（データ包絡分析法），pp.221-228,(2003)，朝倉書店.